

К ОЦЕНКЕ РИСКОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ НЕБЛАГОПРИЯТНЫМИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ И КЛИМАТИЧЕСКИМИ АНОМАЛИЯМИ В АРКТИКЕ

канд. техн. наук В.Г.ДМИТРИЕВ¹, канд. физ.-мат. наук Д.В.КОВАЛЕВСКИЙ^{2,3,4},
д-р геогр. наук Г.В.АЛЕКСЕЕВ¹, канд. физ.-мат. наук Л.П.БОБЫЛЕВ^{2,4}

¹ – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: V_dmitriev@aari.ru, alexgv@aari.ru

² – Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена (Фонд «Нансен-центр»), e-mail: dmitry.kovalevsky@niersc.spb.ru, leonid.bobylev@niersc.spb.ru

³ – Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена (NERSC), Берген, Норвегия

⁴ – Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Обсуждаются проблемы оценки рисков для секторов экономики Арктики, обусловленных неблагоприятными гидрометеорологическими явлениями и климатическими аномалиями, включая этап монетизации риска. Рассматриваются климатические риски для морских перевозок и добычи нефти и газа на арктическом шельфе. Оцениваются последствия сокращения протяженности морских льдов и возможного в будущем усиления морского волнения.

Ключевые слова: риск, изменения климата, Арктика, морской лед, морское волнение, морские перевозки, добыча нефти и газа, континентальный шельф.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В работе обсуждаются некоторые вопросы, связанные с оценкой экономических рисков от климатических аномалий в Северном Ледовитом океане – как существующих в настоящее время, так и возможных в будущем в связи с глобальными изменениями климата. Прежде чем перейти к примерам оценок конкретных рисков, сделаем ряд вводных методических замечаний.

Согласно определению ГОСТ Р ИСО 17776-2010, *риск* – это сочетание вероятности появления опасного события и последствий этого события. В соответствии с этим определением, риск может быть оценен путем определения вероятности появления опасного события и тяжести его последствий [Вентцель, 1962]. Риск часто понимают как количественную меру возможного ущерба.

Наиболее распространенной мерой риска является показатель *среднего риска* (среднего ущерба) \bar{R} , в простейшем случае рассчитываемый по формуле

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n P_i X_i, \quad (1)$$

где P_i – вероятность нанесения ущерба размера X_i в результате наступления какого-либо события (группы событий); X_i – величина ущерба; n – число возможных вариантов ущербов. В непрерывном случае сумма в выражении (1), очевидно, заменяется интегралом.

Отметим, что величина ущерба X_i в уравнении (1) формально может быть и отрицательной. Это соответствует случаям, когда наступившее событие оказывает благоприятное воздействие на исследуемую систему. Пример подобной ситуации приведен ниже в связи с расчетом ожидаемой продолжительности навигации на Северном морском пути (СМП).

На практике для оценки риска, соответствующего конкретной деятельности, определение оценки вероятности опасного события и его последствий часто осуществляют в виде качественных характеристик, таких как низкий, средний или высокий, и затем определяют совокупный риск для комбинации этих оценок с помощью использования ранее согласованных правил [Вентцель, 1962].

В отличие от ГОСТ Р ИСО 17776-2010, в ряде работ под риском экономического ущерба, следуя [Грабовый и др., 1994; Хохлов, 1999; Beaver, Parker, 1995], понимается вероятность $P_Q(L)$ понести объекту Q убыток или упустить выгоду заданного размера L в зависимости от нахождения объекта под воздействием того или иного поражающего фактора при опасности воздействия неблагоприятного (в нашем случае гидрометеорологического) явления d_j ($j = 1, 2, 3 \dots J$), как правило, за определенный период времени.

Заметим, что в то время как величина \bar{R} имеет размерность, выражающую в том или ином смысле стоимость ущерба, величина $P_Q(L)$ безразмерна.

Пусть $D = \{D_s\}_{s=1}^{S_0}$ – полная система попарно несовместных событий (т.е. система гипотез, см., например, [Вентцель, 1962]), индуцированных совокупностью неблагоприятных явлений d_j ($j = 1, 2, 3 \dots J$). Т.е. события D_s представляют собой всевозможные произведения (в вероятностном смысле) явлений d_j и их отсутствия \bar{d}_k вида $\prod_{r=1}^J d_{l_r} \prod_{g=1}^J \bar{d}_{l_g}, l_r, l_g \in \{1, 2, \dots, J | l_r \neq l_g\}$. Например, событие (гипотеза) D_s может состоять в наличии опасности условий появления дрейфующего льда и возникновения брызгового обледенения без опасности встречи с айсбергом и т.п.

Тогда полный риск определяется следующим образом:

$$P_Q(L) = \sum_{s=1}^{S_0} P(Q|D_s) P(L/D_s), \quad (2)$$

где L – экономический ущерб; $P(Q|D_s)$ – вероятность нахождения объекта Q в опасном состоянии D_s ; D_s – рискованная опасность (наличие дрейфующего льда, айсбергов, условия брызгового обледенения в районах функционирования объекта Q); S_0 – общее число элементов системы гипотез D ; $P(L/D_s)$ – условная вероятность возникновения экономического ущерба L для объекта Q при обобщенной опасности D .

Величины $P(Q|D_s)$ и $P(L/D_s)$ определяются индивидуально для каждого объекта Q в соответствии с техническими характеристиками и условиями функционирования, при этом вероятности $P(L/D_s)$ возникновения экономического ущерба при опасности, как независимые от природной неопределенности величины, в настоящей методике не рассматриваются.

Варируя состав гидрометеорологических явлений $\{d_j\}$, по формуле (2) можно рассчитывать частные риски экономического ущерба для определенных групп неблагоприятных гидрометеорологических явлений. При $J = 1$ формула (2) определяет частный риск ущерба от отдельного неблагоприятного явления.

Вероятность нахождения объекта в опасном состоянии $P(Q|D_s)$ зависит от типа объекта и от стратегии управления.

Для стационарных объектов вероятность нахождения в опасном состоянии совпадает с климатической вероятностью возникновения опасного гидрометеорологического явления в районе дислокации объекта. Тогда:

$$P(Q|D_S) = P_{\text{клим.}}(D_S), \quad (3)$$

где $P_{\text{клим.}}(D_S)$ – климатическая вероятность возникновения обобщенного опасного гидрометеорологического явления в районе дислокации объекта в период времени, на который рассчитывается риск. Климатические вероятности определяются как частоты возникновения обобщенного явления D_S и либо приводятся в климатических справочниках, либо рассчитываются стандартным образом на основе имеющихся статистических данных.

Для мобильных объектов вероятность нахождения в опасном состоянии зависит от стратегии управления и возможности уклонения от опасного гидрометеорологического явления. При этом, в случае отсутствия возможности уклонения, мобильный объект может рассматриваться как стационарный.

В случае возможности маневра вероятность нахождения объекта в опасном состоянии зависит от наличия прогностической информации о возможности возникновения опасности (в условиях функционирующей системы гидрометеорологического обеспечения (ГМО)) и принятия стратегии доверия или недоверия прогнозу.

В случае недоверия прогнозу величина $P(Q|D_S)$ рассчитывается по формуле (3), в случае доверия прогнозу

$$P(Q|D_S) = P\left(\frac{\tilde{D}_S}{D_S}\right), \quad (4)$$

где $P\left(\frac{\tilde{D}_S}{D_S}\right)$ – элемент матрицы сопряженности используемого метода прогноза [Жуковский, 1981; Murphy, Katz, 1985] или условная вероятность осуществления прогноза [Дмитриев, 2004], т.е. вероятность осуществления обобщенного явления D_S при условии, что оно прогнозировалось. Величины $P\left(\frac{\tilde{D}_S}{D_S}\right)$ предоставляются соответствующей системой ГМО.

Обозначая буквой C затраты, связанные с проведением защитных мероприятий в предположении, что имеется альтернативный прогноз осуществления обобщенного опасного явления D_S и возможны три варианта стратегии управления морским объектом (проведение защитных мероприятий вне зависимости от прогноза, отказ от защитных мероприятий и принятие защитных мероприятий с учетом прогноза \tilde{D}_S), величину среднего ущерба \bar{L}_S согласно [Жуковский, 1981] можно рассчитать по формуле

$$\bar{L}_S = \frac{p_1 - p_{1/2}}{p_{1/1} - p_{1/2}} C + \frac{p_{1/2} - p_1}{p_{1/1} - p_{1/2}} p_{1/2} L, \quad (5)$$

где: p_1 – климатическая вероятность обобщенного явления D_S ; $p_{1/1}$ – вероятность правильного предсказания обобщенного явления D_S ; $p_{1/2}$ – вероятность ошибки типа «пропуск обобщенного явления».

Риски в случае климатических аномалий также рассчитываются по формулам (2)–(5), но при этом под опасным явлением d_j следует понимать неблагоприятный сценарий развития климата, под морским объектом Q – крупные системообразующие экономические модули, например транспортную магистраль Северный морской путь, морские отрасли экономики и т.п., а под ущербом L – макроэкономический показатель эффективности функционирования экономического модуля.

Вероятности (3), (4) определяются с помощью расчета вариантов климатических сценариев на основе глобальных и региональных климатических моделей или экспертным путем.

Риск-анализом (risk analysis) называется процесс определения достоверных и обоснованных характеристик риска и выявления эффективных мер по его сокращению. Выделяют следующие основные этапы риск-анализа [Тихомиров, Тихомирова, 2010]:

1. Идентификация рисков.

2. Оценка вероятностей событий, которые могут нанести объекту ущерб (неблагоприятных событий). Осуществляется, как правило, одним из трех методов – статистическим, аналитическим или экспертным – или комбинацией указанных методов. Применение статистических методов типично для определения вероятностей ряда неблагоприятных природных явлений.

3. Определение структуры возможного ущерба в натуральном или стоимостном выражении. Стоимостная форма выражения ущерба называется также убытком. Убытки подразделяются на прямые и косвенные. Для определения размера убытков могут быть использованы различные методы (нормативный, расчетный, рыночный и др.).

4. Построение законов распределения ущерба от каждого события.

5. Определение количественной характеристики меры риска.

6. Определение возможных методов воздействия на риск и оценка их эффективности.

7. Разработка и принятие решения о внедрении конкретного набора мероприятий по управлению риском. Три основных подхода, которыми обычно руководствуются при формировании «оптимального» набора методов управления рисками, включают в себя сопоставительный анализ затрат и выгод; риска и выгод; затрат и риска.

8. Контроль результатов.

Приведенный список этапов риск-анализа естественным образом разбивается на две группы: этапы 1–5 составляют *оценку риска* (risk assessment), этапы 6–8 – *управление риском* (risk management).

Оценку риска следует отличать от оценки неопределенности (uncertainty assessment). Применительно к модели, описываемой уравнением (1), оценка риска отвечает случаю, когда известны на количественном уровне и вероятности состояния системы P_i , и размер ущерба X_i . В случае же неопределенности вероятности P_i считаются известными, а величины X_i – неизвестными.

В теории принятия решений и ее экономических приложениях разработаны различные рекомендации для лиц, принимающих решения (ЛПР) в условиях риска [Розен, 2002]. Средний риск \bar{R} (по терминологии, принятой при исследовании задач принятия решения (ЗПР), – также «ожидаемый выигрыш») зачастую является недостаточно детальной характеристикой, в силу чего в ряде случаев ЗПР характеризуется парой величин: средним риском и его среднеквадратичным отклонением. Возникшая двухкритериальная ЗПР может быть решена стандартными методами многокритериальной оптимизации (например, с использованием отношения доминирования по Парето). Альтернативным вариантом является переход от многокритериальной ЗПР к однокритериальной путем построения некоторого обобщенного критерия (например, линейного по среднему риску и среднеквадратичному отклонению).

Следует отметить, что традиционные подходы к риск-анализу в различных сферах человеческой деятельности в последнее время подвергаются все более сильной критике со стороны ряда специалистов. Так, одной из ключевых причин текущего мирового финансового кризиса многие авторы считают недостатки традиционных

математических моделей оценки финансовых рисков, широко применяемых на практике [Купер, 2010]. Серьезным поводом для критики традиционной парадигмы риск-анализа послужили и масштабные техногенные катастрофы последних лет [Kämpf, 2011].

Обсуждение ряда методов, применяемых при оценке погодно-климатических рисков, приведено в [Кобышева, 2009].

ЗАРУБЕЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ

В начале 2012 г. британская правительственная организация DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) опубликовала обширный Доклад об оценке рисков от изменений климата [CCRA, 2012]. Доклад посвящен последствиям изменения климата для экосистем, здоровья населения и секторов экономики Великобритании. Однако анализ избранных разделов CCRA представляет значительный интерес и для оценки арктических климатических рисков по трем причинам:

1. Исследования, проводимые при подготовке CCRA, выполнялись в рамках единой инновационной методологии, которая была разработана специально для данного Доклада [Method for Undertaking the CCRA, 2010] и, по нашему мнению, может быть с успехом применена для оценки климатических рисков в других регионах земного шара, в том числе и в Арктике.

2. Один из «отрицательных рисков» (т.е. «возможностей» – opportunities), подробно рассмотренный в CCRA, имеет непосредственное отношение к Арктике. Он связан с прогнозируемым улучшением ледовой обстановки на СМП и интенсификацией арктических морских перевозок по маршрутам, связывающим Великобританию с азиатскими странами [Pinnegar et al., 2012]. Пристальное внимание, уделяемое Великобританией экономическим последствиям изменений климата Арктики, типично для нашего времени, когда все большее число неарктических стран начинают проявлять повышенный интерес к арктическому региону [Huebert et al., 2012].

3. Методики оценки ряда других климатических рисков, разработанные в CCRA, могут быть адаптированы для арктического региона.

Оценки некоторых климатических рисков, полученные в CCRA, обсуждаются ниже.

ПОСЛЕДСТВИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НАВИГАЦИИ НА СМП

Важнейшим последствием глобального потепления для секторов арктической экономики будет сокращение летних морских льдов [Фролов и др., 2008; Arctic Marine Shipping Assessment, 2009; Bobylev et al., 2003; Johannessen, Pettersson, 2008; Johannessen, Shalina, Miles, 1999]. Ожидается, что оно существенно улучшит условия для судоходства на СМП, а также – в меньшей степени – в Северо-Западном проходе (СЗП). Так, оценки, выполненные в работах [Хон, Мохов, 2010; Khon et al., 2010] на основании результатов расчетов по пяти моделям МГЭИК в рамках «умеренного» сценария SRES A1B, свидетельствуют о том, что к концу XXI в. продолжительность навигации на СМП может составить 3–6 месяцев, а в СЗП – 2–4 месяца. Вместе с тем в среднесрочной перспективе (ближайшие 20 лет) результаты моделирования не показывают существенного удлинения продолжительности навигации в СЗП.

Обсуждавшийся выше британский Доклад CCRA [Pinnegar et al., 2012] уделяет пристальное внимание последствиям ожидаемых климатически обусловленных изменений ледовой обстановки в Арктике для британского судоходства и приводит

количественные оценки, близкие к полученным в цитируемых выше работах. Таяние арктических морских льдов выделено в Докладе в качестве одного из 11 ключевых климатических рисков для британского морского сектора (отметим, что здесь имеет место случай «отрицательного риска», т.е. экономических преимуществ). В качестве метрики риска (т.е. определенного на количественном уровне следствия изменений климата, которое может быть соотнесено с климатическими переменными) выбрано число дней в году с возможностью навигации на СМП и в СЗП. Проекция протяженности морских льдов в XXI в. были получены по модели HadCM3 для трех сценариев «отсечки» по сплоченности морского льда на уровне 30 %, 15 % и 5 % соответственно. Результаты расчетов для СМП приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Проекция длительности навигации на СМП в XXI веке
[Pinnegar et al., 2012]**

Параметры	2020-е гг.			2050-е гг.			2080-е гг.		
	5 %	15 %	30 %	5 %	15 %	30 %	5 %	15 %	30 %
«Отсечка» по сплоченности, %	5 %	15 %	30 %	5 %	15 %	30 %	5 %	15 %	30 %
Длительность навигации (дней)	30	60	90	90	90	120	120	150	180

На этапе монетизации риска (т.е. его оценки в стоимостном выражении) авторы CCRA использовали оценки немецкой судоходной компании Beluga Group, два судна которой благополучно доставили около 5 тыс. т коммерческого груза из Пусана (Южная Корея) в Новый порт (Обская губа), пройдя по СМП в августе–сентябре 2009 г. в составе ледокольного конвоя [Тулупов, 2012]. По данным компании, было сэкономлено порядка £200 000 в расчете на один рейс одного судна (в сравнении с традиционными маршрутами, связывающими Европу и Азию). Используя современные данные по интенсивности контейнерных перевозок между британскими и азиатскими портами и предполагая длительность навигации на СМП равной 8 неделям, что составляет среднюю оценку для эпохи 2020-х гг. (см. табл. 1), авторы получают оценку экономии порядка £70 000 000 в год. Интересно отметить, что порядка 10 % указанной суммы составила сэкономленная плата за выбросы CO₂ в ходе сокращенных рейсов.

УСИЛЕНИЕ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ

В настоящее время степень надежности проекций* поля ветра и штормов по глобальным и региональным климатическим моделям остается сравнительно невысокой. Так, авторы CCRA отмечают, что в то время как некоторые имеющиеся проекции свидетельствуют о предстоящем увеличении частоты штормов в Великобритании, другие проекции предсказывают ее уменьшение [Pinnegar et al., 2012]. Сходная ситуация наблюдается и для Арктики: в то время как большинство исследований предсказывают повышение частоты штормов в Арктике [Harsem et al., 2011], в недавно опубликованной работе [Zahn, von Storch, 2010] прогнозируется снижение ежегодного числа полярных циклонов с 36 (современное значение) до примерно 20 к концу XXI в.

Как следствие, степень надежности проекций волнового климата пока также остается недостаточной. Тем не менее в CCRA выполнено исследование последствий изменения климата для паромных перевозок в Великобритании. Выбранные

* Мы употребляем для англоязычного термина «projection» перевод «проекция». В некоторых работах [Кароль и др., 2008] данный вариант перевода расценивается как неудачный и вместо него предлагается развернутый аналог «оценка возможных в будущем изменений».

для исследования климатические проекции свидетельствуют об усилении суровости волнового климата к концу XXI в., что, в частности, будет выражаться в повышении значимой высоты волн (significant wave height). Дополнительные сведения, полученные от операторов паромных перевозок, позволили выполнить монетизацию риска. В настоящее время убытки от неблагоприятного волнового климата для паромных перевозок в районе Гебридских островов составляют порядка £10 000 000 ежегодно. Проекция риска до конца XXI в. отличается большой неопределенностью, но не выходит за пределы £10 000 000–£99 000 000 ежегодно («средний» (medium) уровень среднего риска, по качественной градации CCRA).

Представляется, что при аналогичном анализе для Арктики будет необходим комплексный учет как факторов, усиливающих ветровое волнение, так и ожидаемых изменений ледовой обстановки в Северном Ледовитом океане. Ключевую роль при этом может сыграть создание и использование данных реанализов, подобных реанализу coastDat для Северного моря, содержащих обширные статистические данные по экстремальным скоростям ветра, морскому волнению и штормовым нагонам [Weisse et al., 2009].

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Для добычи нефти и газа на арктическом шельфе, как и для морских перевозок в Арктике, ключевое значение будет играть изменение ледовой обстановки. Вместе с тем следует напомнить, что ни одна из современных климатических моделей не предсказывает отсутствия арктического морского льда в зимний период [Arctic Marine Shipping Assessment, 2009]. Отсюда с неизбежностью вытекает, что оборудование для добычи нефти и газа на арктическом шельфе и в обозримом будущем должно будет проектироваться как способное выдерживать экстремальные зимние погодные условия (температуры вплоть до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) [Harsem et al., 2011].

Изменение ледовой обстановки в Арктике создаст как новые возможности, так и новые риски для нефтегазовой отрасли [Dell, Pasteris, 2010]. Так, хотя сокращение площади морских льдов летом улучшит условия для судоходства, наличие льда в зимний период приведет к тому, что трубопроводы, по-видимому, и в обозримом будущем будут оставаться наилучшим решением для транспортировки нефти и газа с шельфовых месторождений. Улучшение ледовой обстановки в летний период увеличит продолжительность сезонов бурения. Вместе с тем, одно- и двухлетний лед является более подвижным при сильном ветре, нежели более старые формы льда, и может дрейфовать с большей скоростью, что создает потенциальный риск для нефтегазовой отрасли.

Повышение частоты штормов в Арктике (если оно, конечно, будет иметь место – см. *выше*) может составить серьезный риск для добычи нефти на шельфе, негативно влияя на все три ее стадии (бурение, добыча и транспортировка). Увеличение ветровых нагрузок на буровые установки указано как одно из важных последствий изменений климата для арктической экономики в обобщающей работе [Катцов, Порфирьев, 2011]. Недавнее разведочное бурение в море Бофорта показало, что сокращение площади морского льда в сочетании с эффектами усиления морского волнения и штормовых нагонов может потребовать существенных изменений в конструкциях соответствующих сооружений [Burkett, 2011]. Кроме того, повышение частоты штормов увеличивает риски, связанные с разливами нефти.

В настоящее время технологии риск-анализа в нефтегазовой отрасли, в том числе и для добычи нефти и газа на шельфе, доведены до стадии сложных программных комплексов, прошедших стадию внедрения. В качестве одного из примеров можно

привести систему SYRAS (the System Risk Assessment System [Bea, 2002]). Система SYRAS была разработана для инженеров, занимающихся оценкой вероятности отказа оборудования для добычи на шельфе путем идентификации основных задач оборудования на различных стадиях его жизненного цикла. В модель введены факторы, учитывающие возможное влияние экстремальных природных условий.

Вместе с тем отметим, что в недавно опубликованной работе [Kämpf, Haley, 2011] приведены аргументы в пользу необходимости разработки принципиально новых подходов к управлению рисками для добычи нефти и газа на арктическом шельфе, включая погодно-климатические риски. Одним из таких подходов, по мнению авторов цитированной работы, могла бы стать формирующаяся в настоящее время концепция «управления проектами второго рода» (Project Management of the Second Order, PM-2). Под проектами второго рода здесь понимаются проекты, характеризующиеся состоянием «среды» с повышенной степенью непредсказуемости, неустойчивости, нелинейности.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Ввиду того, что ожидаемое изменение климата является важным, но далеко не единственным фактором, который будет определять социально-экономическое развитие арктического региона, оценку рисков от климатических аномалий следует проводить в контексте мультидисциплинарных сценариев на стыке естественных и общественных наук, выполняя декомпозицию климатических и социально-экономических факторов риска.

2. Общая методология оценки климатических рисков для национальной экономики, детально разработанная и успешно апробированная при подготовке британского Доклада CCRA [Harsem, Eide, Heen, 2011], может быть взята за основу для проведения аналогичного исследования для Российской Федерации в целом или Российской Арктики в частности.

3. Ряд конкретных методик оценки климатических рисков, разработанных авторами CCRA для Великобритании, может быть адаптирован для аналогичных оценок для Российской Арктики (в частности, методика оценки риска для судоходства, связанного с ухудшением волнового климата).

4. Представляется важным (в тех случаях, когда это возможно) оценивать не только показатель среднего риска от климатических аномалий, но и хотя бы один из показателей его волатильности (например, среднеквадратичное отклонение).

5. Перспективной методикой при оценке климатических рисков для морских перевозок может стать технология нейронных сетей [Wang et al., 2004], особенно эффективная в случае повышенной степени сложности (и зачастую противоречивости) причинно-следственных связей, а также повышенного уровня шумов в данных и большой вычислительной сложности задачи.

6. Расчет вероятности проявления климатической аномалии является на современном этапе развития теории анализа климатических рисков менее сложной задачей, чем оценка ущерба от данной аномалии. В связи с этим в дальнейших прикладных исследованиях необходимо уделять особенно пристальное внимание процедуре монетизации риска, что возможно сделать только в сотрудничестве с прикладными экономистами.

7. Большинство оценок климатических рисков, выполненных к настоящему времени, основано на проекциях климатических моделей Четвертого оценочного доклада МГЭИК (IPCC AR4). Необходим скорейший переход к проекциям нового

поколения, которые лягут в основу Пятого оценочного доклада (IPCC AR5, выход в печать ожидается в 2013–2014 гг., многие результаты модельных расчетов уже сейчас размещены в открытом доступе в сети Интернет).

8. Для более надежной оценки рисков для морских перевозок и добычи на шельфе, обусловленных ухудшением волнового климата, необходимо использовать данные реанализов, аналогичных реанализу coastDat [Weisse et al., 2009].

9. Большие перспективы для оценки рисков от климатических аномалий для проектируемых судов, портов и оборудования для добычи на шельфе открываются в области совместного использования данных крупномасштабных климатических проекций и «локального» инженерного моделирования методами вычислительной гидродинамики (включая динамику льда).

Работа выполнена в рамках проекта № 2011-16-420-1-002 «Исследование влияния глобальных изменений климата на процессы в океане и атмосфере Арктики и оценка их последствий для природопользования и окружающей среды» подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» Федеральной целевой программы «Мировой океан» и проекта № 4/2011 «Морской лед в Арктике: прошлое, настоящее, будущее» (Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Физматгиз, 1962. 564 с.

ГОСТ Р ИСО 17776-2010 Руководящие указания по выбору методов и средств идентификации опасностей и оценки риска для установок по добыче нефти и газа из морских месторождений. М., 2010. 108 с.

Грабовый П.Г., Петрова С.Я., Романова К.Г. и др. Риски в современном бизнесе. М.: Аланс, 1994. 200 с.

Дмитриев В.Г. Вероятностная интерпретация прогноза дат достижения морским льдом толщины 20–25 см в арктических морях // Метеорология и гидрология. 2004. № 9. С. 45–56.

Жуковский Е.Е. Метеорологическая информация и экономические решения. Л.: Гидрометеопиздат, 1981. 304 с.

Кароль И.Л., Катцов В.М., Киселев А.А., Кобышева Н.В. О климате по существу и всерьез. СПб.: ГГО им. А.И.Воейкова, 2008. 56 с.

Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу (резюме доклада) // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова. 2011. Вып. 563. С. 7–59.

Кобышева Н.В. Современное состояние и перспективы развития работ в области прикладной климатологии // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова. 2009. Вып. 560. С. 51–67.

Купер Дж. Природа финансовых кризисов. Центральные банки, кредитные пузыри и заблуждения эффективного рынка / Пер. с англ. СПб.: BestBusinessBooks, 2010. 210 с.

Розен В.В. Математические модели принятия решений в экономике. М.: Книжный дом «Университет», Высшая школа, 2002. 288 с.

Тихомиров Н.П., Тихомирова Т.М. Риск-анализ в экономике. М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2010. 318 с.

Тулунов Д. Потенциал Северного морского пути // Российский Совет по международным делам. URL: http://russiancouncil.ru/inner/?id_4=589 [дата обращения 10.09.2012]

- Фролов И.Е., Цыбань А.В., Алексеев Г.В., Баринова С.П., Володкович Ю.Л., Гудкович З.М., Карклин В.П., Лупачев Ю.В., Умбрумянц И.О., Фролов С.В., Щука Т.А., Левич А.П. Северные моря // Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. II. Последствия изменений климата. М.: Росгидромет, 2008. С. 264–268.
- Хон В.Ч., Мохов И.И. Климатические изменения в Арктике и возможные условия арктической морской навигации в XXI веке // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 1. С. 19–25.
- Хохлов Н.В. Управление риском. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. 239 с.
- Arctic Marine Shipping Assessment 2009 Report (AMSA). Arctic Council, April 2009. 187 p.
- Bea R.G. Human and organizational factors in reliability assessment and management of offshore structures // Risk Analysis. 2002. Vol. 22. P. 29–45.
- Beaver W.H., Parker G. (eds). Risk Management: Problems and Solutions. Stanford University Press, McCraw-Hill, 1995. 369 p.
- Bobylev L.P., Kondratyev K.Ya., Johannessen O.M. Arctic Environment Variability in the Context of Global Change. Chichester: Springer-Praxis Publishing, 2003. 470 p.
- Burkett V. Global climate change implications for coastal and offshore oil and gas development // Energy Policy. 2011. Vol. 39. P. 7719–7725.
- Dell J.J., Pasteris P. Adaptation in the oil and gas industry to projected impacts of climate change: Proceedings of the SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, 12–14 April 2010. Rio de Janeiro, Brazil, 2010. CD ROM.
- Harsem Ø., Eide A., Heen K. Factors influencing future oil and gas prospects in the Arctic // Energy Policy. 2011. Vol. 39. P. 8037–8045.
- Huebert R., Exner-Pirot H., Lajeunesse A., Gullede J. Climate change & international security: The Arctic as a Bellwether. Arlington, Virginia: Center for Climate and Energy Solutions. 2012. URL: <http://www.c2es.org/publications/climate-change-international-arctic-security/> [дата обращения: 12.09.2012]
- Johannessen O.M., Pettersson L.H. Arctic climate and shipping // High North – High Stakes. Eds: R. Gottemoeller and R. Tamnes. Oslo: Fagbokforlaget, 2008. P. 95–114.
- Johannessen O.M., Shalina E.V., Miles M. Satellite evidence for an Arctic sea ice cover in transformation // Science. 1999. Vol. 286. P. 1937–1939.
- Kämpf M., Haley S. Risk Management in the Arctic Offshore: Wicked Problems Require New Paradigms. ISER Working Paper 2011.3. 2011. URL: http://www.iser.uaa.alaska.edu/Publications/2011_10-riskmanagement.pdf [дата обращения 25.09.2012]
- Khon V.C., Mokhov I.I., Latif M., Semenov V.A., Park W. Perspectives of Northern Sea Route and Northwest Passage in the twenty-first century // Climatic Change. 2010. Vol. 100. P. 757–768.
- Method for Undertaking the CCRA. Part II. Detailed Method for Stage 3: Assess Risk. DEFRA, UK, 2010. 126 p.
- Murphy A.H., Katz R.W. Probability, statistics, and decision making in the atmospheric sciences, Boulder, CO: Westview Press. 1985. P. 547.
- Pinnegar J., Watt T., Kennedy K. Climate Change Risk Assessment for the Martine and Fisheries Sector // UK Climate Change Risk Assessment 2012. DEFRA, UK, 2012. 222 p.
- Summary of the Key Findings from the UK Climate Change Risk Assessment 2012. DEFRA. UK. 2012. 17 p.
- Wang J., Sii H., Yang J.B., Pillay A., Yu D., Liu J., Maistralis E., Saajedi A. Use of advances in technology for maritime risk assessment // Risk analysis. 2004. Vol. 24. P. 1041–1063.
- Weisse R., von Storch H., Callies U., Chrastansky A., Feser F., Grabemann I., Günther H., Pluess A., Stoye Th., Tellkamp J., Winterfeldt J., Woth K. Regional meteorological–marine reanalyses and climate

change projections. Results for Northern Europe and potential for coastal and offshore applications // Bulletin of the American Meteorological Society. June 2009. P. 849–860.

Zahn N., von Storch H. Decreased frequency of North Atlantic polar lows associated with future climate warming // Nature. 2010. Vol. 467 (7313). P. 309–312.

V.G.DMITRIEV, D.V.KOVALEVSKY, G.V.ALEKSEEV, L.P.BOBYLEV

ASSESSING THE RISKS OF ADVERSE HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS AND CLIMATE ANOMALIES IN THE ARCTIC

Problems of risk assessment for economic sectors in the Arctic due to adverse hydrometeorological conditions and climate anomalies are discussed, including the stage of risk monetization. Climate risks for marine transportation and oil and gas industry on the Arctic shelf are considered. Effects of reduced sea ice extent and possible future deterioration of wave climate are evaluated.

Keywords: risk, climate change, the Arctic, sea ice, wave climate, marine transportation, oil and gas industry, continental shelf.